

TÓPICO 5 – Património histórico

Anomalias estruturais correntes em edifícios antigos

R. Vicente^{1,a}, H. Varum^{1,b} e J.A.R. Mendes da Silva^{2,c}

¹Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Portugal

²Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Portugal

^aromvic@ua.pt, ^bhvarum@ua.pt, ^craimundo@dec.uc.pt

Palavras-chave: Anomalias, Paredes de alvenaria, Estruturas de madeira

Resumo. Neste artigo é caracterizada a construção dos edifícios antigos, particularmente da Baixa de Coimbra. Esta caracterização é essencialmente feita pela identificação das soluções e tecnologia construtiva ao nível da estrutura resistente, isto é do “esqueleto” dos edifícios antigos: paredes de alvenaria e estruturas de madeira (pavimentos e coberturas). Observa-se a utilização sistemática de materiais tradicionais como a madeira em estruturas de pavimento e de cobertura; pedra calcária em paredes de fachada e em guarnições de aberturas; areia do rio e cal em argamassas de enchimento e rebocos; e barro, nos diversos tipos de telha e em alguns elementos de alvenaria. Para além da caracterização construtiva é feita o levantamento das anomalias estruturais mais comuns, constituindo um catálogo das anomalias mais relevantes dos edifícios antigos da Baixa de Coimbra.

Introdução

Foram inspeccionadas cerca de 800 edifícios no âmbito do projecto de renovação e reabilitação da Baixa de Coimbra, sistematizando-se informação acerca da caracterização construtiva do edificado da área inspeccionada e dos problemas estruturais que surgem frequentemente nos edifícios antigos e que afectam as paredes de alvenaria, pavimentos de madeira e coberturas com estrutura resistente em madeira.

Foi efectuada uma descrição construtiva dos edifícios antigos da Baixa de Coimbra, através da caracterização dos materiais, soluções construtivas e tecnologia utilizadas essencialmente ao nível da estrutura resistente, isto é, das paredes de alvenaria e estruturas de madeira (pavimentos e coberturas). Inspeccionadas várias centenas de edifícios, observou-se e diagnosticou-se um conjunto de anomalias recorrentes e de ocorrência sistemática. Faz-se, também, um levantamento das anomalias estruturais mais comuns, criando um catálogo de anomalias. Dá-se particular atenção aos problemas mais relevantes das paredes de alvenaria, pavimentos e coberturas com estrutura de suporte em madeira, com implicação directa na segurança e qualidade estrutural dos edifícios antigos, que são descritos e discutidos numa perspectiva de análise sintoma-causa, e apresentados com recurso a fichas estruturadas, que inclui exemplos reais.

Pretende-se que, para efeitos de reabilitação, esta descrição e sistematização de informação, quer dos elementos construtivos, quer das anomalias mais comuns, apoiem o conhecimento e divulgação da tecnologia construtiva do edificado antigo no nosso país, nomeadamente no caso de Coimbra.

Caracterização das paredes de alvenaria resistente

Na construção dos edifícios antigos de Coimbra (habitação, monumentos, etc.) são comuns as alvenarias de grande espessura constituídas por pedra calcária de diversa qualidade, isto é, por pedras com maior ou menor grau de carbonatação e de adulteração argilosa (calcários dolomíticos e calcários margosos). A pedra mais vulgar é a pedra calcária de tom amarelado de Coimbra, também designada por dolomia. Estes calcários são mecanicamente mais fracos pela forte heterogénea em

constituição e são ainda de difícil trabalhabilidade. A dolomia de origem local era extraída de pedreiras na periferia da cidade, nomeadamente em Santa Clara e ainda, dentro da própria cidade. Esta pedra era essencialmente utilizada na constituição das paredes resistentes do edificado e ainda no enchimento em paredes interiores. Do ponto de vista estrutural, este material revelou-se muito vulnerável face às acções climáticas e em particular à acção da humidade. A desagregação (que é um dos mais graves problemas observados) não se deve apenas à pedra das alvenarias, mas também às argamassas de assentamento e à sua má constituição.

Outras pedras de origem calcária, como a pedra de “Ança” (extraída nesta região), já são calcários mais puros e não são comuns na constituição das alvenarias. Esta pedra de baixa resistência é mais utilizada nas guarnições dos vãos, pilastras, cimbras de cantaria e está muito presente em peças ornamentais e em monumentos (Mosteiro de Santa Clara, Sé Velha, etc.). Esta pedra, de bom aspecto e excelente trabalhabilidade, é também muito vulnerável às acções climáticas, como se pode observar em vários locais da cidade através dos problemas de desagregação e escamação superficial.

De entre as pedras calcárias na zona de Ança-Portunhos, outras pedras das pedreiras da Boiça e de Outil, com maior ou menor grau de pureza, foram também empregues e utilizadas na constituição das paredes de alvenaria e ainda em outros elementos construtivos. A presença de minerais argilosos nas pedras calcárias tornam as mesmas muito sensíveis à presença da água, originando problemas de degradação diferencial, erosão diferencial e perda de coesão das próprias alvenarias. É muito comum os vãos de aberturas (janelas, varandas e portas) serem vencidos com arcos de descarga em tijolo cerâmico de formato 3x12x28cm, enquanto que inferiormente e na face interior da parede são aplicados lintéis em madeira. A degradação e envelhecimento destes elementos levam à deformação da face interior da parede que prejudica o efeito de arco, transmitindo esforços excessivos aos lintéis.

Os tipos fundamentais de alvenarias observadas são as alvenarias de pedras irregulares ligadas por argamassa (denominada por “aparelho rústico”) e as paredes de frontal (também denominada de “gaiola” ou de “taipa de rodízio”). Na Fig. 1 ilustram-se as tipologias de alvenaria que foram possíveis observar durante as inspecções e que são, essencialmente, alvenarias de pedra irregular argamassada.



Figura 1: Alvenarias irregulares de pedra calcária na Baixa de Coimbra

A forma de assentamento e o tipo de aparelho das alvenarias de pedra irregular são determinantes na sua capacidade resistente. As dimensões e formato com que as pedras vêm da pedreira, o modo como são argamassadas e a qualidade da argamassa são determinantes na

qualidade da alvenaria. As pedras de maior dimensão têm, em geral, forma tosca e são necessárias para criar o “maciço”, o cerne da parede. As pedras de mais pequena dimensão têm funções de travamento e enchimento. As alvenarias de pedra irregular ou surribada, desordenadas, apresentam um assentamento aleatório, com juntas desalinhadas e irregulares, mas contudo, com algum cuidado na execução (selecção e assentamento). A heterogeneidade das alvenarias é, aliás, bem visível, incluindo a utilização de tijolos maciços no preenchimento e regularização do assentamento.

Em geral, não existe uma ligação com elementos lastriformes entre uma face e a outra da parede, mas sim o recurso a pedras de maior dimensão com cerca de 2/3 da espessura da parede. Outras alvenarias de dois panos apresentam um núcleo de enchimento com uma mistura de fragmentos de pedra e argamassa de cal ou barro pouco consistente (ver Fig. 2 e Fig. 3). Estas paredes de alvenaria, com esta composição, nunca poderiam ter menos de 35cm de espessura, salvo avaliação específica e indicações de projecto. Estas espessuras foram calculadas, durante muito tempo, de forma empírica tendo em consideração factores como a sua altura, esforços suportados, qualidade dos materiais, existência de paredes de contraventamento perpendiculares, eficiência das ligações, etc. A definição de uma espessura mínima obrigatória era uma regra comum entre os construtores [1, 2].

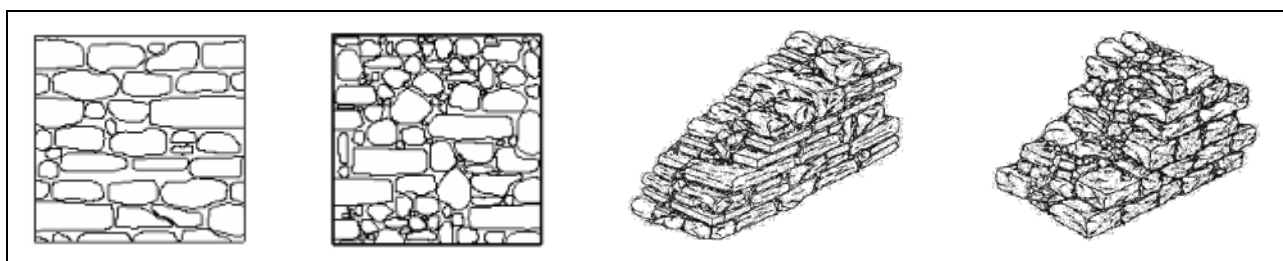


Figura 2: Tipo de assentamento e aparelho das alvenarias de pedra irregular [3]

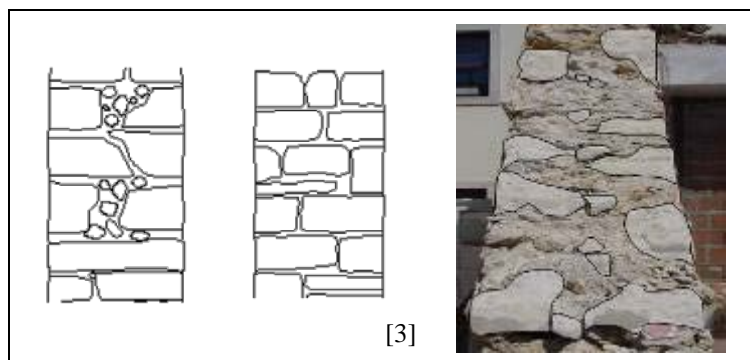


Figura 3: Secção transversal das paredes de pedra

Com o crescimento em altura dos edifícios (com pisos elevados) e com o crescimento do tamanho dos lotes medievais (estreitos) permitindo maiores vãos, as estruturas de madeira assumiram uma tridimensionalidade com a utilização de elementos de madeira embebidos nas paredes com enchimento de fragmentos de pedra irregular, argamassa e agregados (por exemplo, grés e arenitos) e cacos cerâmicos de menor dimensão (provenientes da indústria cerâmica de Coimbra). No entanto, estas estruturas de madeira não apresentam uma regularidade geométrica significativa. As paredes de frontal com prumos verticais, associadas a travessas horizontais e algumas diagonais, formando cruzes geralmente pregadas (também denominadas de “cruzes de Santo André” e “taipa de rodízio”), lembram a estrutura de “gaiola pombalina”, ainda que com menor apuramento da técnica.

As paredes resistentes entre edifícios (paredes “meeiras”), em muitos casos não são estruturalmente dependentes, são constituídas por alvenarias menos espessas e de pior qualidade incorporando estruturas de madeira embebidas (ver Fig. 4). A madeira é utilizada como reforço

periférico na zona das ombreiras, padieiras ou peitoris. Também se encontram elementos de madeira ao nível dos cunhais, mas não constitui uma solução corrente [4].



Figura 4: Paredes de alvenaria com estrutura de madeira

A visível fractura e flexão de prumos de madeira embebidos nas paredes são sinais de apodrecimento e degradação da madeira que não são resolvidos pela simples cintagem ou atirantamento da flexão visível. Note-se ainda, que as paredes de tabique têm frequentemente uma função pseudo-estrutural, que adquiriram através do tempo, sendo solicitadas por deformações impostas e efeitos diferidos, abaulando e evidenciando fissuras de esmagamento e denunciando movimentos da estrutura principal e dos pavimentos em madeira.

Existem ainda exemplos de alvenaria de tijolo com diversos formatos, em geral assente a meia-vez. Identificaram-se alguns exemplos, raros, de alvenaria do tipo arábica [5], em que entre prumos verticais existem tijolos com dimensões 28x12x3cm com um formato peculiar, designados por tijolos “bico de andorinha” (ver Fig. 5). Foram observados, raramente, outros tipos de alvenaria, dos quais se destaca a taipa de canas, alvenaria de tijolo cerâmico com assentamento na diagonal.

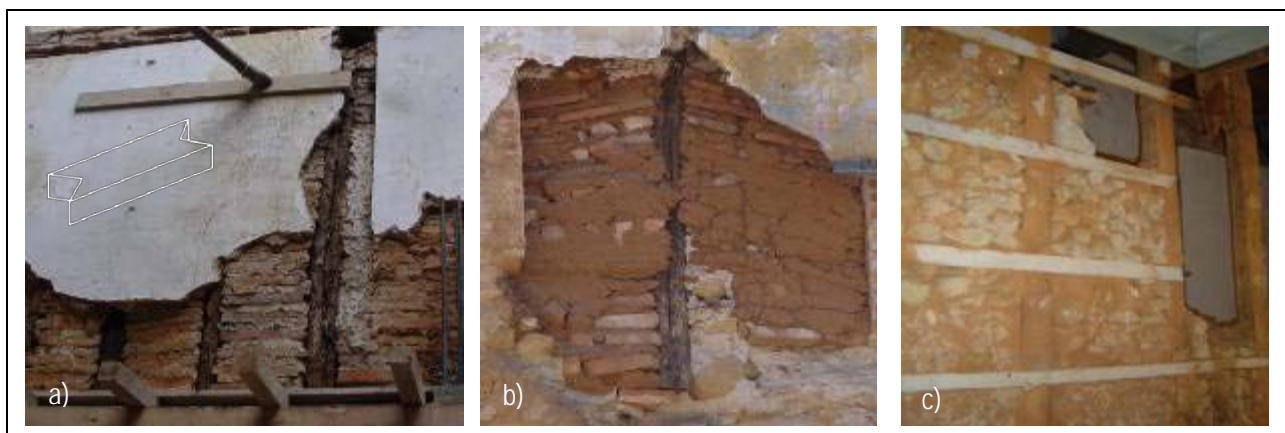


Figura 5: Alvenaria com prumos de madeira distanciados cerca de 60cm na vertical

Os tirantes em ferro forjado que ligam paredes opostas funcionam como armadura passiva, não transmitindo forças à alvenaria. Apenas se mobilizarão no caso de ocorrerem deformações, assentamentos ou se sujeita à acção sísmica. Os tirantes não estão necessariamente à vista, mas são muitas vezes denunciados pelo destacamento dos revestimentos sobrejacentes (ver Fig. 6). Normalmente são visualizados ao nível dos pisos e ao nível da cobertura, observando-se ainda soluções de tirantes como medida de reforço pós-construção.



Figura 6: Uso de tirantes

Os cunhais são zonas onde o travamento das alvenarias adquire especial significado e onde os cuidados devem ser maiores. Se a construção da zona de cunhal for descuidada, é muito provável que se venham a desligar as paredes sem nenhuma razão particular, bastando por vezes o choque térmico para produzir este efeito. Vulgarmente, o travamento é feito por meio de interpenetração vertical como se observa na Fig. 7-a e Fig. 7-b, e em outros casos, por blocos de pedra de maior dimensão e melhor qualidade (alvenaria perpianho). Mais raro é o uso de madeira embebida, como acontece no caso de alvenarias menos espessas (ver Fig. 7-c).



Figura 7: Cunhais e ligação entre paredes ortogonais

As alvenarias têm fraca resistência a esforços de tracção ou corte, apesar do seu bom comportamento a esforços de compressão. A resistência ao corte e à tracção é influenciada pela espessura destas paredes e ainda pela sua constituição, nomeadamente, pelo aparelho da alvenaria e pela qualidade da argamassa de assentamento (que normalmente é de cal ou de barro). As argamassas de cal e barro, que conferem propriedades mecânicas e de coesão pobres, são um factor determinante na resistência a acções laterais, fora do plano das paredes de alvenaria. A fragilidade da resposta destas paredes de alvenaria, de baixa ductilidade na presença de forças horizontais de corte, não permite uma dissipação de energia apreciável no caso da acção sísmica. No caso de incorporarem madeira, já esta capacidade é melhorada significativamente [6].

Caracterização dos pavimentos em madeira

A madeira é um material muito utilizado na construção de edifícios tradicionais e antigos no nosso País. A construção desde a segunda metade do Séc. XVIII até à primeira metade do Séc. XX, foi muito marcada pelo uso da madeira (o edifício pombalino e o gaioleiro). Com a vulgarização das estruturas de betão armado, as estruturas de madeira foram completamente ignoradas pelos técnicos, começando um período de esquecimento que contribuiu em parte para o estado em que hoje se encontram as madeiras nos edifícios antigos, quer usadas em estruturas, quer empregues em elementos não estruturais [7]. Recentemente, a madeira tem lentamente reassumido o seu carácter estrutural, muitas das vezes em obras não convencionais. Na Baixa de Coimbra, a madeira está presente nas estruturas dos pavimentos, escadas, nas coberturas, nas alvenarias e tabiques, e até nas fundações (estacaria), assumindo-se ainda como um material não estrutural em revestimentos (soalhos, escadas) e nas guarnições dos vãos.

Inevitavelmente, a construção de cada região usa os recursos locais. Na região de Coimbra é frequente observar o uso de vários tipos de madeira: pinho bravo (espécie resinosa), carvalho português, castanho (espécie folhosa) e em menor expressão a casquinha, o choupo e o eucalipto (estes dois últimos não são madeiras aconselháveis para construção, daí que a sua presença seja mais rara). A utilização de madeira importada não era comum, excepto em casos raros e para os edifícios de maior nobreza. No entanto, em outros países europeus a importação de madeira da América do Norte e do norte da Europa era comum, como foi o caso de Inglaterra, nomeadamente na cidade de Londres.

Vários tipos de madeira são empregues nos edifícios visitados na Baixa de Coimbra:

- As madeiras de castanho e carvalho têm a sua aplicação mais corrente em vigamentos de pavimentos e estruturas de suporte de coberturas. Outras aplicações não-estruturais destes tipos de madeira são comuns ao nível dos aros de portas, caixilhos, portas e soalho;
- A madeira de pinho foi observada na aplicação de vigamentos de pavimentos e ainda com maior expressão nas estruturas de suporte das coberturas (secção redonda ou esquadriada). Ao nível dos prumos e travessas dos frontais, estruturas em gaiolas, tabiques fasquiados, varedo dos telhados e ainda em pranchas de soalho, também se observou o uso frequente da madeira de pinho;
- A madeira de casquinha aparece em diferentes aplicações: vigotas, em pranchas de soalho, tabiques, portas, guarnições, aros das janelas, etc;
- A madeira de choupo, pela sua abundância local, também foi observada nas estruturas de pavimento e cobertura;
- A madeira de eucalipto, de baixa durabilidade e nobreza, foi raramente observada nas estruturas de cobertura, mas frequentemente empregue em soluções de escoramento para evitar a queda de outras estruturas de madeira.

As madeiras exóticas, apesar de não terem sido identificadas com funções estruturais, foram observadas em edifícios de nobreza singular.

Foram observadas muitos pavimentos com estrutura de suporte em madeira, com peças de madeira com sinais de diferente corte e “falquejamento”. Este processo de preparação das madeiras designado de “falquejamento” consiste na preparação do tronco de madeira para posteriormente ser esquadriada em vigas para empregar em estruturas de suporte de grandes cargas. As vigotas, barrotes e as pranchas eram obtidas pelo corte das vigas. O “falquejamento” nem sempre era executado, ou seja, as vigas eram aplicadas para estruturas de suporte de elementos resistentes, apenas preparando as extremidades e eventuais zonas para serem ligadas a outras peças de madeira. A forma dada aos barrotes e vigotas depende da forma de preparação e serragem (ver Fig. 8), que por sua vez, limita a sua trabalhabilidade na execução de samblagens, talões, entalhes, etc.

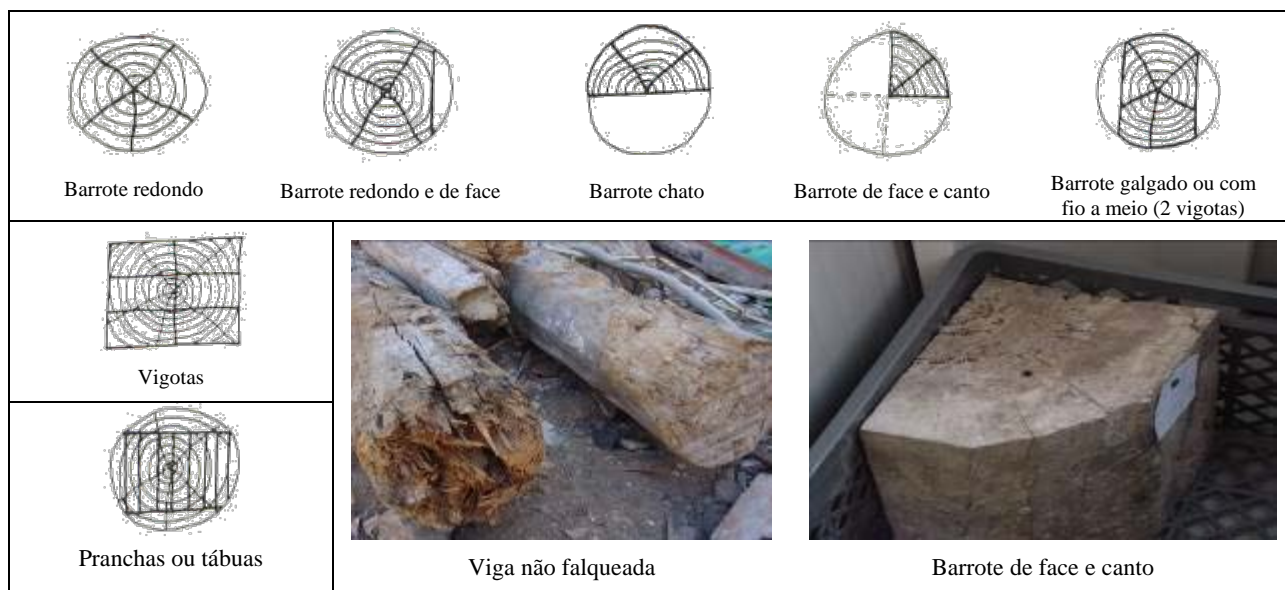


Figura 8: Secção e corte de peças de madeira [5]

Os pavimentos de madeira, representam a maioria das situações observadas e são constituídos por vigamentos de madeira paralelos numa direcção, distanciados em média entre 30 a 60cm, no qual assenta um soalho pregado na direcção transversal.

A dimensão das peças de madeira dependerá da sua futura aplicação em que se exige níveis de durabilidade e resistência específicas, daí que a natureza das madeiras empregues seja importante na definição da secção e comprimento da peça. No entanto, com argumentos de carácter económico, têm-se observado secções de dimensões insuficientes e espaçamentos excessivos, que conduzem, na sua maioria a deformações excessivas e, muito raramente, a situações de colapso. A distância entre o vigamento é reflexo da melhor ou pior qualidade da habitação, isto é, a relação entre a dimensão do vigamento (largura do barrote) e o afastamento entre o vigamento, que na grande maioria dos casos registados era 1:3 ou 1:4.

O afastamento das vigas depende normalmente do vão a vencer. Foi observado com frequência medidas entre os 30 a 40cm (entre eixos de vigas/barrotes) para um vão corrente entre os 3 a 4m, em que as secções dos barrotes tinham em média, 10cm de largura por 18cm de altura. Quando os vãos atingiam valores na ordem dos 6m, as secções dos barrotes aumentavam para 12cm de largura por 20cm de altura. Para vãos entre os 6 e os 15m, observaram-se valores na ordem dos 25 a 33cm para a largura e 33 a 55cm para a altura das vigas (no caso das maiores medidas, tratam-se de vigas não falqueadas). Para este tipo de vãos maiores, o esquema estrutural mais elementar não era suficiente, criando-se alinhamentos resistentes de grandes vigas principais que seriam transversais ao vigamento do pavimento, sobre o qual era pregado o soalho, existindo ainda, em alguns casos, um contra soalho. Para além desta variabilidade das dimensões registada, observam-se também, secções transversais das peças de madeira que não são esquadriadas, isto é, troncos circulares sem casca para toda a ordem de grandeza dos vãos. Relativamente ao tecto e à face inferior dos pavimentos, foi normalmente observado um forro de madeira ou um forro em estafe.

A identificação da madeira não é uma tarefa fácil. No presente trabalho, essa aproximação à identificação foi feita de forma muito expedita a partir da sua cor, peso, aparência do veio (observação das camadas de crescimento), bolsas de resina, presença e número de nós, porosidade e ainda pela posição e função desempenhada. Embora num número reduzido de casos, foram observados arcos e abóbadas executados à base de elementos cerâmicos e de pedra ao nível do primeiro piso elevado (ver Fig. 9). Outra solução singular (característica do final do Séc. XIX), constituída por vigas de ferro espaçadas de cerca de 50 a 60cm e preenchidas entre si por pequenas abóbadas em tijolo, foi também observada e ilustra-se na Fig. 9-d.

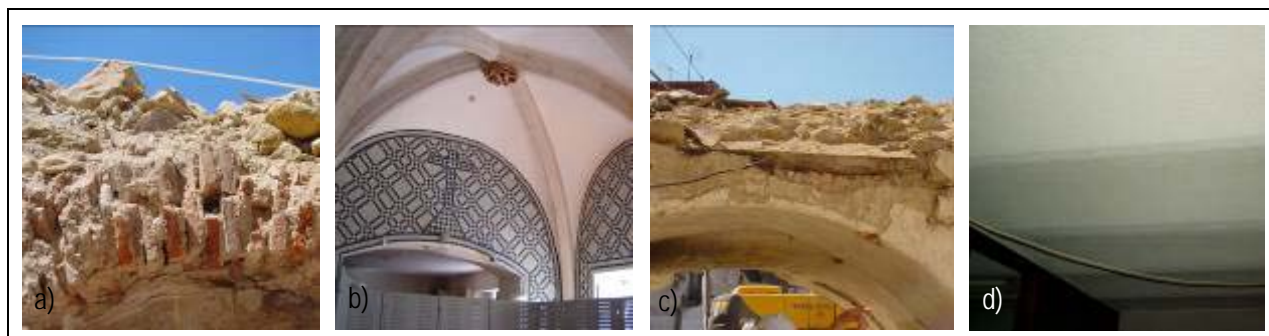


Figura 9: Outros tipos de pavimento: a) Arco em tijolo; b) Abóbada nervurada; c) Abóbada simples; d) Vigas em ferro e abóbadas em tijolo

Os pavimentos em madeira constituem diafragmas rigidificadores das estruturas dos edifícios de alvenaria e reduzem o risco de instabilidade das paredes de alvenaria de elevada esbelteza, particularmente em pisos elevados de edifícios mais altos. Os edifícios com arcaria ao nível do rés-do-chão e com janelas altas, sem o suporte da estrutura de madeira do pavimento (reduzindo-se assim paredes de envoltória periférica a nêmbos estreitos e contínuos entre aberturas), seriam demasiado esbeltas e com elevado risco de encurvar e flectir quando sujeitas a resistir a acções horizontais. Estudos realizados [8], revelam que quanto maior for a flexibilidade dos pavimentos, a sua deformação e aceleração crescente, associado ao seu comportamento não linear histerético, maior podem ser os deslocamentos diferenciais induzidos sobre as paredes. Os efeitos de amplificação em termos de aceleração vertical dos pavimentos podem chegar a 2 vezes os valores de aceleração [9]. Na Fig. 10 apresentam-se imagens da tipologia e organização dos pavimentos mais comuns na Baixa de Coimbra.



Figura 10: Pavimentos em madeira na Baixa de Coimbra

A forma de ligação mais simples dos pavimentos às paredes, consiste no encaixe do vigamento de madeira em aberturas dispostas nas paredes com as dimensões dos barrote. Não é muito frequente a existência de um elemento de distribuição de carga, por exemplo, um frechal em madeira para evitar a concentração de tensões sobre a zona de entrega dos barrote sobre a parede de alvenaria. Mais rara ainda, e apenas observado em casos pontuais, é a execução de uma ligação eficiente, garantindo a mobilização de um comportamento conjunto entre elementos resistentes horizontais e verticais, com recurso a elementos metálicos. Na Fig. 11 ilustram-se os esquemas de ligação usuais entre os pavimentos e as estruturas de alvenaria: i) introdução do topo do barrote na

parede; ii) recurso a frechal (embebido ou aparente); e, iii) recurso a frechais aparentes associados a tirantes ou cachorros de pedra.

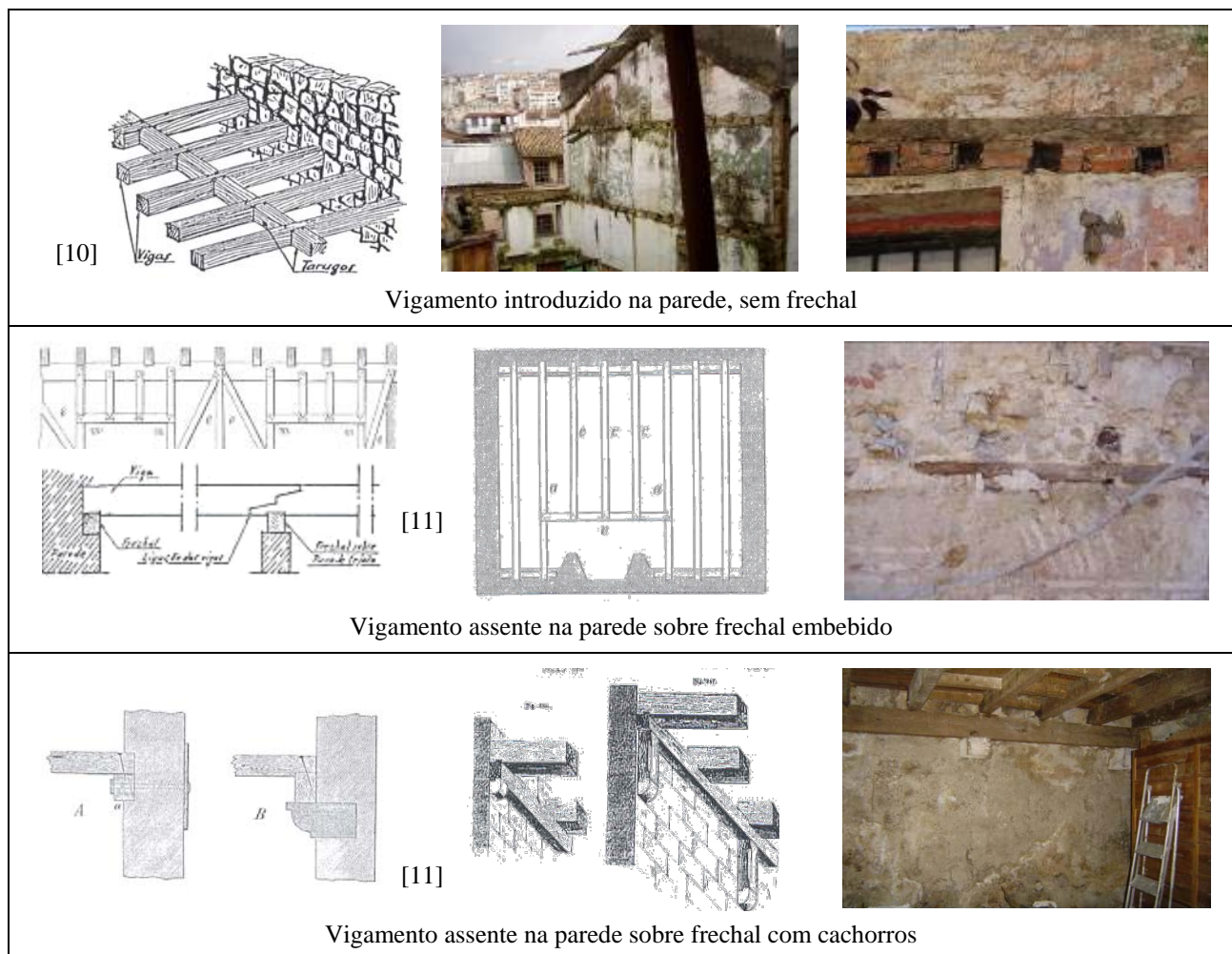


Figura 11: Ligações entre pavimentos e paredes

Na Fig. 12 apresentam-se exemplos de ligações pontuais com recurso a elementos metálicos que solidarizam as paredes de alvenaria com o vigamento em madeira, que raramente se observaram, uma vez que a foi difícil identificar estes pontos singulares da estrutura.

As ligações parede-pavimento são de facto críticas, uma vez que a transferência de forças estáticas ou dinâmicas dos pavimentos para as paredes é garantida e mesmo condicionada, pelo seu grau de conexão. Refira-se que as condições de apoio simples dos barrotes sobre as paredes, podem motivar o colapso das paredes para fora do seu plano e ainda a queda parcial do pavimento, devido ao desenfiamento dos barrotes das paredes onde se apoiam.

A existência de pregos em ferro forjado de secção quadrada ou arredondada, designados por “pregos de galeota”, permite, de forma indirecta, conhecer a data de construção do edifício, pois a sua utilização é anterior ao Séc. XVIII. Os pregos de ferro forjado eram utilizados na ligação de peças de madeira que suportariam grandes esforços.

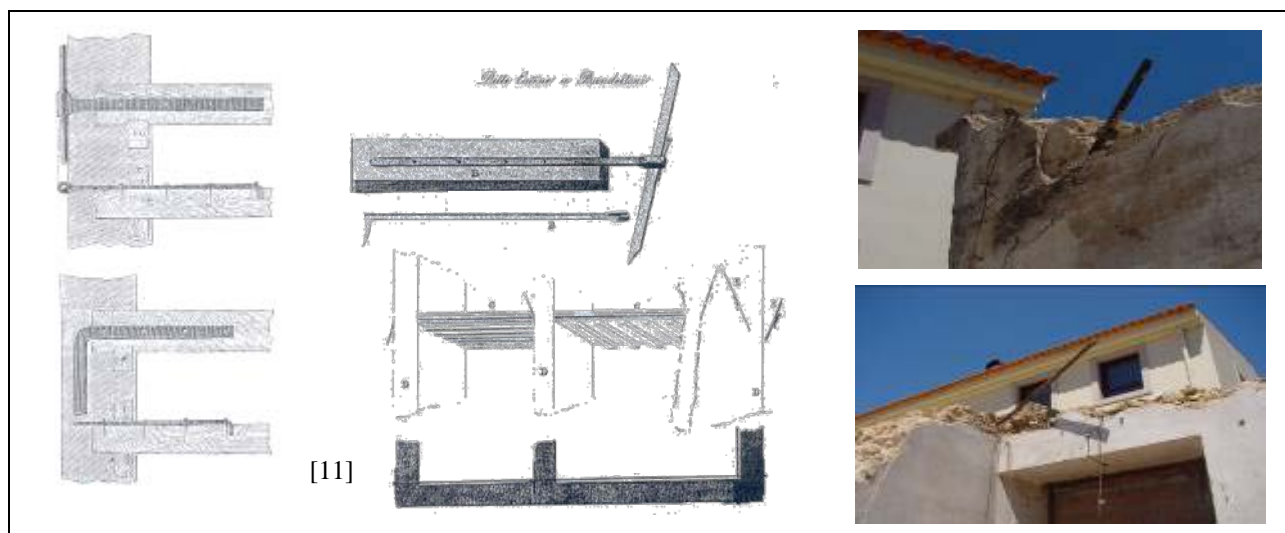


Figura 12: Ligações com elementos metálicos

Foram observados muitos casos de pavimentos que sofreram intervenções de reforço, com a intenção de controlar a deformação e permitir maior capacidade de carga (inserção de perfis metálicos na direcção longitudinal e transversal aos barrotes de madeira, criação de colunas de apoio intermédio, substituição de alguns barrotes e introdução de uma cofragem colaborante).

Caracterização das coberturas com estrutura em madeira

As estruturas das coberturas são quase na totalidade em madeira, existindo muito poucos casos de coberturas com estrutura metálica, coberturas planas ou outras geometrias. Debruçamo-nos sobre as coberturas inclinadas com estrutura em madeira, por representarem mais dos 95% das coberturas do perímetro de estudo da Baixa de Coimbra. Observaram-se diferentes soluções estruturais de coberturas, ao nível da configuração das asnas, dos elementos de contraventamento, das mansardas, lanternins, etc. Após observação de centenas de coberturas, verificou-se a recorrência de soluções estruturais elementares, com casos pontuais de estruturas muito mais complexas [12, 13] (ver Fig. 13). O facto de muitos edifícios estarem construídos em banda e terem uma largura reduzida, conduz a que as soluções de telhado com duas águas sejam as mais utilizadas: i) a solução estrutural é muito simples e consiste em vigas/barrotes principais de madeira paralelos à fachada, descarregando sobre as paredes meeiras ou meãs; ii) estrutura de barrotes que descarrega sobre um lintel no topo das paredes de fachada e uma viga de cumeeira, como se fossem asnas desprovidas de escoras, pendural e linha; e ainda, iii) solução com uma geometria de asna fechada simples (ver Fig. 14).

Nos casos de coberturas de grandes dimensões (maiores vãos e número de vertentes), a solução estrutural torna-se mais complexa em termos das suas ligações e geometria dos elementos de madeira. As asnas mais complexas foram observadas nos edifícios mais nobres. As asnas compostas, asnas de lanternim e asnas de mansarda foram observadas em edifícios mais altos, que normalmente recorrem, em geral, a melhor técnica construtiva. Foram ainda observados casos singulares de geometria não convencional.

Relativamente às dimensões das peças de madeira inferiores a 4 metros (vigas, barrotes, linhas, pernas, madres), a secção transversal destas peças é baseada em critérios empíricos. No caso de serem superiores a esta dimensão teriam que respeitar dimensões indicadas por tabelas de cálculo [10].

A inclinação das águas revelou-se por vezes insuficiente, o valor aceitável para edifícios antigos seria em média, 26° a 27° para as vertentes principais (valor usual para a inclinação das pernas das asnas), sendo ainda mais inclinada no Norte de Portugal do que no Sul. Actualmente, sabemos que a escolha destes valores é dependente de vários factores, desde a acção combinada do vento e precipitação, ao conceito de exposição, tipo de telha e o seu tipo de encaixe [14].



Figura 13: Exemplos de coberturas observadas na Baixa de Coimbra



Figura 14: Geometria e constituição da estrutura de suporte das coberturas da Baixa de Coimbra

As ligações, na sua maioria, são pregadas, mas nem sempre apresentam cuidados de samblagem entre as peças de madeira e uso de ferragens (ver Fig. 15). As ligações com ferragens são apenas

observadas em asnas de coberturas mais complexas e consequentemente de maior vão. A dimensão destas ligações, suportada por critérios empíricos, pode variar entre larguras de 3 a 6cm e espessuras de 0.5 a 1.2cm, determinada pela dimensão da estrutura.

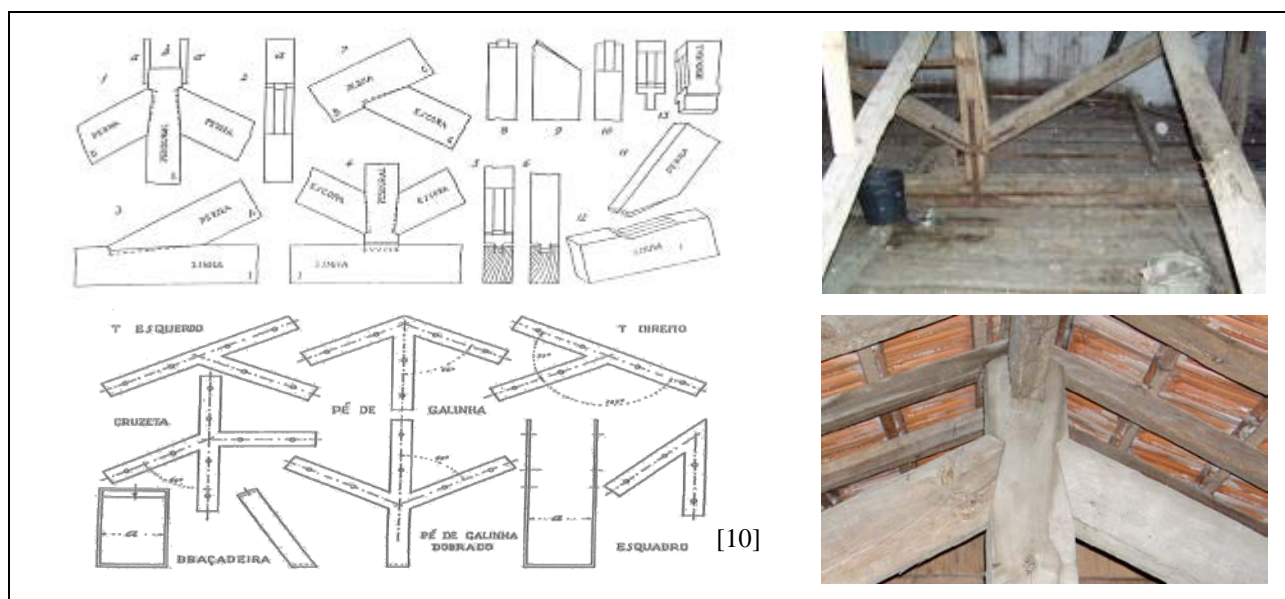


Figura 15: Ligações entre elementos da estrutura das asnas de cobertura (samblagens e ferragens)

Predominam as coberturas revestidas a telha cerâmica. A telha do tipo marselha e a telha do tipo lusa representam a maioria das soluções, com predominância para esta última (ver Fig. 16). As coberturas revestidas com telha canudo (também designada por “telha portuguesa”), na sua maioria argamassadas, apresentam um estado de degradação muito avançado e têm desaparecido, representando hoje uma pequena minoria (ver Fig. 17-a). Existem diversas formas de assentamento para este tipo de telha (mouriscado, meio mouriscado, cravado e valladio), no entanto, a forma de assentamento mais observada é do tipo “valladio” com duplo coberto, sem juntas argamassadas e do tipo cravado, com argamassa na zona da boca das telhas. As zonas de beirado e cumeeira são sempre assentes com argamassa.



Figura 16: Vistas aéreas da Baixa de Coimbra

A heterogeneidade de materiais e soluções é muito grande em alguns casos, podendo observar-se em situações singulares, três a quatro tipos de revestimento diferentes (ver Figura 17-b). É evidente, mas lamentável, o facto de intervenções ao nível da reparação e conservação da cobertura, na maioria dos casos, não se estenderem à zona dos beirados, onde claramente se observam duas a três fiadas de telhas de meia-cana originais (ver Figura 17-c).



Figura 17: Revestimentos de coberturas inclinadas



Figura 18: Exemplos de soluções de revestimentos de coberturas inclinadas na Baixa de Coimbra

Os beirais têm sempre uma quebra de inclinação (contrafeito) obtida através de um elemento de madeira (ponta de vara) que é pregado a um frechal sobre a parede e em outros casos, devido à existência de um algeroz de recolha de água pluvial. Existem ainda alguns casos em que o beirado é o prolongamento da vertente.

Na reabilitação de coberturas, incluindo a sua substituição, há novas preocupações, nomeadamente a colocação de isolamento térmico, a ventilação e a definição de um sistema adequado de recolha de águas, que fazem com que muitas destas intervenções prolonguem a vida útil destas construções, quando devidamente enquadradas e compatibilizadas com a estrutura existente. No entanto, os remates e os pontos singulares são sempre zonas de maior complexidade e, por isso, geralmente menos cuidados (ver Fig. 18).

As intervenções ao nível dos revestimentos consistem, essencialmente, na resolução das infiltrações, recorrendo à substituição das telhas (em geral, adaptando telhas do tipo lusa ou marselha) e à aplicação de telas e sistemas de subtelha. Muitas destas intervenções constituem uma oportunidade para substituir alguns dos elementos de madeira mais degradados e ainda reconstruir a estrutura da cobertura parcialmente ou até de forma integral, se necessário. As medidas de reforço e reparação observadas são diversas: tirantes, perfis metálicos, escoras nas zonas de apoio e outros tipos de elementos metálicos usados em reforços locais. É frequente observar reforço local de secções e escoramento com outras peças de madeira, mas a execução destas intervenções é, em geral, pouco cuidada e com carácter pouco duradouro.

Identificação das principais anomalias das alvenarias

Entre as anomalias que afectam as paredes de alvenaria dos edifícios da Baixa de Coimbra, verifica-se que algumas delas são recorrentemente observadas e representam bem a realidade do estado de degradação do edificado. São apenas apresentadas alguns casos da Fig. 19 à Fig. 21, sendo aconselhável a consulta do trabalho completo [15]. A identificação das anomalias apresentadas, é também importante na condução de uma inspecção de um edifício antigo, porque se faz a descrição do fenómeno e ainda a explicação da sua potencial causa e factores agravantes. Refira-se que a maioria das anomalias são frequentemente associadas a problemas de origem mecânica e/ou física. Porém, os problemas de origem química, com maior expressão na explicação de anomalias não estruturais, constituem normalmente causas agravantes das anomalias estruturais. Muitos dos problemas observados são diagnosticáveis pela análise limite de tensões instaladas. No entanto, alguns modelos numéricos mais complexos poderão ajudar a quantificar com maior rigor a amplitude das forças e tensões desenvolvidas nos fenómenos de fissuração que ocorrem.

Fissuração vertical junto ao cumhal



Descrição

Desligamento na zona de cumhal ou de encontro das paredes de fachada com as paredes meeiras.
Fissuração vertical e inclinada com maior abertura no topo.

$$\tau_u = \tau_k + \sqrt{1 + \frac{\sigma_o}{1.5 \times \tau_k}}$$

Causas e observações

Rotação da própria parede (desaprumo) ou movimento da parede ortogonal associada à ligação deficiente entre paredes ortogonais.

A baixa resistência ao corte das alvenarias é determinante neste tipo de fissuração (ver expressão acima). O valor da tensão normal ao nível do topo é muito inferior em relação a níveis mais baixos da construção e, por isso, a amplitude e gravidade da fissuração vertical é superior no topo e vai diminuindo até se anular. Pode estar relacionado com o próprio faseamento da construção: Paredes de fachada que não são bem ligadas às paredes de empena já existentes da construção vizinha. O eventual impulso dos pavimentos e da cobertura constituem factores agravantes.

Figura 19: Fissuração vertical junto ao cumhal

Fissuração devido a impulso horizontal da cobertura sobre a parede



[16]



Descrição

Fissuração vertical junto à cornija da cobertura e fragilização localizada da alvenaria e do revestimento.

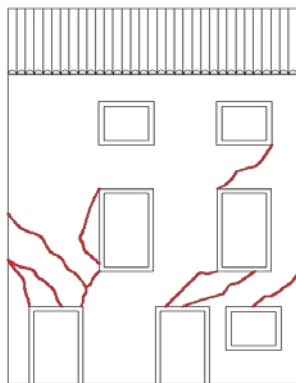
Causas e observações

Os impulsos (forças horizontais não equilibradas) que actuam sobre as paredes resistentes - sobre as quais descarrega a cobertura - originam forças de corte nas paredes bem como a sua rotação.

Em geral, as paredes não estão preparadas para resistir a estes impulsos e não estão bem ligadas com as paredes meeiras. Os impulsos podem ter origem em uma ou várias das seguintes causas: deformação imposta; deformabilidade da estrutura da cobertura por parte da viga de cumeeira ou do vigamento de suporte; interrupção de elementos da estrutura de suporte da cobertura; ausência de elementos de cintagem ou tirantes de ligação das paredes capazes de absorver e redistribuir o esforço.

Figura 20: Fissuração devido a impulso horizontal da cobertura sobre a parede

Concentração de tensões por desalinhamento de aberturas



Descrição

A fissuração é essencialmente inclinada.

Causas e observações

Desenvolvem-se esforços de tracção e tensões tangenciais que não são suportáveis pela alvenaria e consequentemente pelo reboco em zonas de parede sobre aberturas e lintéis.

O desalinhamento de aberturas em altura (vertical) prejudica o caminho de cargas e distribuição de esforços nas paredes. A interrupção de um nêmo de parede resistente, devido ao desalinhamento de uma abertura, compromete a capacidade de resistir a forças de corte e de compressão da parede a esse nível, sendo particularmente desfavorável ao nível do R/C. Nesta situação, se sujeito a uma acção sísmica, a resistência a acções laterais fica muito reduzida.

Figura 21: Concentração de tensões por desalinhamento de aberturas

Existem ainda outros erros e anomalias das paredes de alvenaria, dos quais se destacam:

Supressão de paredes ao nível do rés-do-chão - interrompendo os alinhamentos verticais resistentes, motivada pela alteração de funcionalidade dos espaços. Mesmo que se substitua e reforce com uma viga com capacidade resistente adequada às solicitações das cargas verticais, a

alvenaria de grandes dimensões, então suprimida, seria essencial para garantir a capacidade resistente ao corte ao nível do rés-do-chão. A variação de rigidez introduzida pela supressão de paredes ao nível deste piso, implica uma redistribuição de esforços que solicita de forma diferente os elementos resistentes existentes, não esquecendo a clara agravante da criação de um mecanismo de comportamento, no caso de acções sísmicas, do tipo *soft-storey*. Também se observaram muitos casos, de aberturas de rasgos com grande dimensão para a instalação e remodelação de redes de abastecimento de água e drenagem de esgotos. Estas acções introduzem fragilidades locais que recuperam-se, quer em termos de esforços sobre elementos resistentes vizinhos, quer no caminho de carga e na distribuição de tensões sobre a parede “rasgada”;

Aumento do número de pisos - posteriormente à construção dos edifícios, que foi prática corrente no crescimento das cidades no Séc. XIX. A construção adicional de um ou dois pisos, de estrutura aligeirada no topo do edifício apresentava-se possível, uma vez que o sobredimensionamento das espessuras de alvenaria ao nível dos pisos inferiores permitiam estas acções e em alguns casos a disposição em banda facilitava a sua concretização, apoiando os novos pavimentos em paredes meias. Porém, as fracas e ineficientes formas de ligação da estrutura aligeirada normalmente constituída por paredes de frontal e paredes de tabiques à estrutura da construção existente, tornaria estes pisos, particularmente vulneráveis a acções dinâmicas.

Identificação das principais anomalias dos pavimentos

Nos pavimentos de madeira os problemas são frequentemente associados à própria natureza do material e agravados pelo seu envelhecimento, degradação e efeito de fluência. Muitos edifícios apresentam peças de madeira muito deformadas ou empenadas, essencialmente pela acção dos ciclos de temperatura e humidade e ainda pelos efeitos de um processo de secagem não controlado. Apresentam-se igualmente da Fig. 22 à Fig. 24, apenas três das principais anomalias observadas nos pavimentos de madeira, que cobrem a maioria dos casos de problemas observados [15].

Deformação excessiva



Descrição

Deformação acentuada dos pavimentos com grandes flechas entre barrotes/vigas da estrutura de suporte do pavimento.

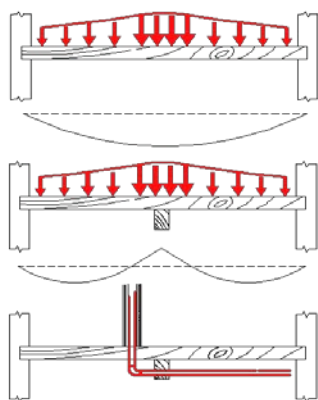
Causas e observações

Reduzida dimensão das secções dos barrotes/vigas de madeira e ainda excessivo espaçamento entre eixos de barrotes/vigas principais, característicos destas construções, afectando a longo prazo a durabilidade dos pavimentos.

Podem ainda conduzir ou agravar as deformações: envelhecimento natural da madeira; empenos associados à falta de controlo do processo de secagem (muito comum no caso da madeira de pinho); supressão de paredes estruturais onde apoiam os pavimentos; falta de tarugamento do vigamento principal do pavimento de forma a melhorar o efeito membrana e a rigidez dos pavimentos. A presença de água e o ataque xilófago constituem factores de agravamento.

Figura 22: Deformação excessiva

Interrupção de elementos estruturais e introdução de carga excessiva



Descrição

Deformação excessiva dos pavimentos

Causas e observações

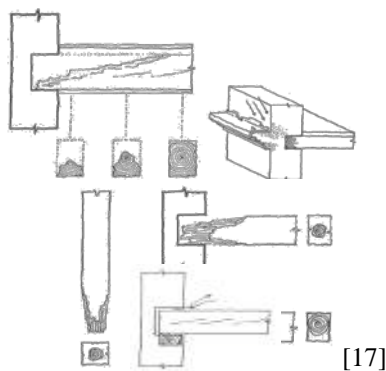
A adaptação do edifício a novos usos, isto é, novas exigências em termos de cargas, por vezes excessivas, que conduzem a níveis de deformação não recuperáveis, acelerando os efeitos diferidos de deformação no tempo.

É muito frequente os pisos superiores dos edifícios servirem de espaço de armazém dos espaços comerciais instalados no rés-do-chão (uma vez que são raros os edifícios com cave). Em muitos destes casos são depois introduzidos reforços (duplicação de vigas, novos elementos de madeira e introdução de perfis metálicos) após visíveis deformações do vigamento existente.

A adaptabilidade dos compartimentos de serviço, cozinhas e instalações sanitárias, implica a introdução de redes de águas e esgotos. Muitas vezes o seu traçado leva ao corte de elementos para passagem de tubagem, comprometendo a capacidade resistente, fragilizando localmente o pavimento e conduzindo a um risco de deformabilidade, associada ainda à betonagem parcial das lajes.

Figura 23: Interrupção de elementos estruturais e introdução de carga excessiva

Apodrecimento e fragilização (infiltrações)



Descrição

Apodrecimento da madeira nas zonas mais sensíveis, como são as “entregas” do vigamento de madeira sobre as paredes.

Causas e observações

A capacidade resistente de peças de madeira, próximas da parede, são fragilizadas (desenvolvimento de fungos e podridão) pelas infiltrações que ocorrem através das paredes (fachada e meeiras), beirais, coberturas e caixilharias, conduzindo à desagregação da alvenaria e destruição da zona dos apoios, onde o esforço de corte também é maior, originando, em casos limite, o colapso dos barrotes/vigas e consequentemente do pavimento.

A partir de infiltrações que ocorrem essencialmente através das paredes, outros elementos em madeira também contactam com a água, como são soalhos e forros de tecto, nomeadamente nas zonas periféricas, junto das paredes.

A humidade ascensional, apesar de ter uma consequência mais directa sobre as alvenarias, também pode ascender ao nível dos pavimentos no caso de pisos semi-enterrados. A rotura de canalizações e outras causas fortuitas podem agravar este problema.

Figura 24: Apodrecimento e fragilização (infiltrações)

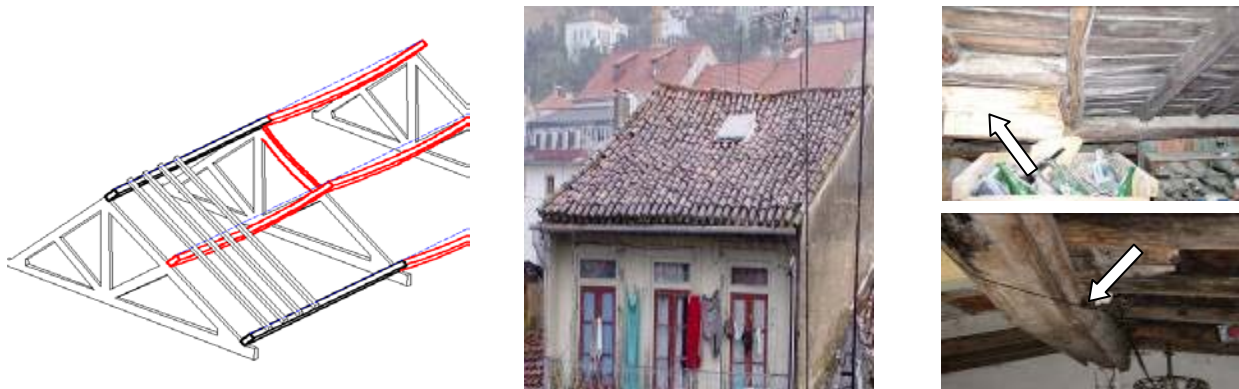
O envelhecimento natural referido em praticamente todos os casos expostos, constitui um factor agravante, particularmente, no caso das deformações. Pequenos defeitos e irregularidades inerentes

ao próprio material, como a nodosidade da madeira, defeitos de secagem, empenos naturais (inclinação do fio), fendas e outras alterações, influenciam a qualidade e resistência mecânica dos elementos de madeira, contribuindo para os problemas de deformações, fluência e rotura de ligações. Outros agentes atmosféricos como os raios ultravioletas e agentes químicos alcalinos (por exemplo, a cal apagada), produzem alterações que são apenas superficiais, como é o caso da alteração da cor, mas pode também afectar, a longo prazo, a resistência mecânica [18].

Identificação das principais anomalias das coberturas

As anomalias mais comuns das coberturas em estrutura de madeira, são essencialmente consequentes da deformação progressiva das suas estruturas, devido principalmente a três problemas fundamentais: o processo de degradação e envelhecimento natural da madeira do sistema de suporte da cobertura; a distorção e empeno significativo dos elementos da estrutura primária (asnas e madres); e a infiltração de água da chuva que agrava e condiciona todo o sistema da cobertura, desde o revestimento até ao topo das paredes de alvenaria, onde descarregam as estruturas de suporte das coberturas. Da Fig. 25 à Fig. 27, apresentam-se os problemas mais importantes e recorrentes que afectam as coberturas [15].

Deformabilidade excessiva da estrutura de suporte da cobertura



Descrição

Deflexão da viga de cumeeira ou fileira, das pernas das asnas e madres. Esta deflexão afecta todo o sistema de vara e ripa e o revestimento da cobertura.

Causas e observações

São essencialmente deformações que ocorrem pela combinação de dois aspectos: envelhecimento natural da madeira e o efeito da fluência. Uma vez deflectida a estrutura, é facilitada a entrada de água que acaba por degradar ainda mais a estrutura da cobertura. Refira-se que os espaços de desvão são normalmente espaços fechados sujeitos a grandes amplitudes térmicas, particularmente temperaturas muito elevadas na estação de Verão, propiciando e amplificando os problemas de empeno, abertura de fendas e retracção que comprometam a estabilidade da estrutura da cobertura.

Era corrente o uso de madeira de menor qualidade, com problemas de estabilidade dimensional, isto é, madeiras com grande potencial para empenar, abrir fendas decorrentes da secagem, etc. (a gravidade destes fenómenos é muito dependente da própria espécie de madeira empregue).

Outros problemas podem agravar esta anomalia: uso de secções transversais das peças de madeira com insuficiente capacidade de carga; o ataque xilófago e degradação biológica; deficiente contraventamento das asnas; eventual exposição à radiação ultravioleta.

A deformação sofrida pode em alguns casos evoluir até à ruína parcial de parte da cobertura.

A deformabilidade das estruturas de cobertura pode ainda provocar impulsos sobre as paredes exteriores como já exposto na Figura 20.

Figura 25: Deformabilidade excessiva da estrutura de suporte da cobertura

Ataque xilófago e degradação biológica dos elementos de suporte em madeira da cobertura



Descrição

Normalmente o ataque xilófago é visível pelo exterior das peças, apresentando sinais de perfuração de pequeno diâmetro, que pode atingir toda a secção da peça de madeira, favorecendo o desenvolvimento de bolores e podridão.

Este problema é particularmente sensível nas zonas de ligação e apoio.

Causas e observações

A susceptibilidade de degradação por agentes biológicos, nomeadamente fungos (de podridão ou azulamento) e insectos (carunchos e térmitas), depende fortemente das condições higro-térmicas a que a madeira está sujeita. O teor em água para desenvolvimento dos agentes biológicos terá de ser superior a 20%. No entanto, a madeira seca pode ser atacada pelo caruncho.

A deterioração interna provocada pela podridão (branca, parda ou branda), desfazendo a madeira, atacando a lenhina e celulose, e o ataque dos insectos (mais comum: caruncho e térmitas) consumindo a madeira e criando galerias, traduzem-se em termos estruturais numa redução da secção resistente. No caso do ataque xilófago, o aspecto exterior da madeira pode ser bom.

Figura 26: Ataque xilófago e degradação biológica dos elementos de suporte em madeira da cobertura

Fragilização das ligações e zonas de apoio nas paredes



Descrição

Fissuração localizada sobre a própria peça de madeira ou localmente na zona de apoio.

Causas e observações

No caso da fragilização do elemento estrutural de madeira na zona de apoio na parede, normalmente não existe um elemento de distribuição de carga, que poderia ser um frechal, alvenaria assente com pedra bem talhada e de maior dimensão, ou ainda um cachorro. É comum a fissuração originada pela concentração de tensão excessiva na zona de apoio, associada à fraca capacidade de corte da alvenaria nesta área.

A fragilização das ligações entre elementos resistentes de madeira pode ser despoletada pela combinação de vários problemas: ataque xilófago, humedificação prolongada, defeitos naturais da madeira e carga pontual excessiva, diminuindo de forma progressiva as propriedades mecânicas da peça até à rotura.

O fenómeno da fragilização das zonas de apoio e entrega dos vigamentos de madeira nas paredes é semelhante à dos pavimentos sobre as paredes resistentes.

Quando se observa a rotura de algumas secções por carga excessiva (pernas das asnas, fileira, vigamentos) é frequente na proximidade dessas roturas, observar defeitos (nós, fissuras, empenos), que por si só, já constituem um risco ao bom desempenho estrutural. Pode também estar associado a problemas de corrosão de peças de ligação metálica.

Figura 27: Fragilização das ligações e zonas de apoio nas paredes

Os problemas não estruturais, que são muitos, poderão ainda agravar as condições de estabilidade estrutural. Os pontos singulares da cobertura são os que mais defeitos apresentam, uma vez que são geralmente omissos. É, pois, facilmente explicável que sejam os pontos singulares as principais fontes de infiltração das coberturas. Da configuração em banda dos edifícios, resulta que as coberturas inclinadas têm necessidade de cuidados especiais ao nível dos remates com paredes emergentes paralelas ou perpendiculares às vertentes, sob pena de risco de graves infiltrações. Outras potenciais origens de infiltração são as deficiências nos remates de cumeeiras, nos rincões, nos larós, na inclinação das vertentes e dos beirados e ainda no encaixe e na sobreposição das telhas.

A formação de musgos e vegetação pioneira sobre as coberturas e telhas propicia a acumulação de detritos e microrganismos, dificultando o escoamento das águas pluviais. Coberturas com geometria complexa de pequenas águas, pouco inclinadas e com muitos recortes de difícil execução, apresentam em geral infiltrações. Os sistemas de drenagem e recolha de água ineficientes, envelhecidos e ainda corroídos (tradicionalmente eram em zinco ou chapa quinada pintada ou galvanizada) provocam escorrências nas fachadas ao nível das cimalthas e dos beirais. O excesso de argamassa no assentamento das telhas prejudica o processo de secagem, provocando um humedecimento prolongado de determinadas zonas da cobertura, degradando os materiais vizinhos e enfraquecendo e propiciando a sua fissuração.

Comentários finais

As alvenarias encontradas nos edifícios da Baixa de Coimbra são muito heterogéneas em termos de comportamento e deformabilidade, devido à heterogeneidade de materiais (da pedras e argamassas), às técnicas construtivas, e ainda, à diversidade do seu estado de conservação. O cariz regional da disponibilidade de materiais marca definitivamente a qualidade das paredes de alvenaria resistente. O estado de conservação é muito preocupante, tendo em consideração, sobretudo, os sinais de desligamento entre paredes ortogonais e a fissuração com grandes aberturas, que prejudicam e comprometem a estabilidade destes edifícios que correm o risco de desmoronar apenas com acções climáticas ou com a realização de obras vizinhas. Nas alvenarias de mais fraca qualidade, a consolidação ou reparação tem de ser de maior profundidade e de maior responsabilidade, apresentando em geral maior dificuldade técnica. É necessário recolher informação adicional acerca das paredes de alvenaria, recorrendo a ensaios não destrutivos (por exemplo, macacos planos, sónicos, etc.), uma vez que são particularmente importantes pela função estrutural que desempenham.

Os pavimentos com estrutura em madeira apresentam algumas limitações, quer de origem estrutural, quer de origem não estrutural. As principais preocupações passam pela capacidade de carga dos pavimentos que se têm de adaptar a novas funções, pelo controlo e eliminação de deformações, pelos ataques de xilófagos e o desenvolvimento de fungos, pelo comportamento à acção do fogo, e ainda, pelo bom nível de isolamento acústico e térmico. As intervenções necessárias nos pavimentos deverão ser orientadas pelo conhecimento e compreensão dos materiais e da tecnologia, apoiadas por criteriosas acções de diagnóstico.

As soluções de cobertura deverão manter-se eficazes ao longo do tempo, evitando que seja a cobertura a principal fonte de degradação dos edifícios, como frequentemente se verifica. A reabilitação destas coberturas dificilmente pode ser parcial e implica, em geral, o levantamento global do telhado, reparação, reforço ou substituição dos elementos estruturais (incluindo tratamentos de preservação das madeiras), substituição e realinhamento da estrutura secundária de apoio, colocação de subtelha, limpeza e escolha das telhas a reutilizar, fabrico de telhas para substituição parcial e recolocação do telhado com reconstrução de todos os pontos singulares (beirais, cumeeiras, rufos, etc.). As coberturas inclinadas de telha cerâmica, em Portugal, são um elemento construtivo corrente, com grande capacidade de resposta às exigências funcionais que lhe são aplicáveis, mas apresentam, actualmente, graves defeitos, com origem, sobretudo, na deficiente concepção e execução. Nos processos de reabilitação, a ausência ou insuficiência de projecto, a reduzida formação específica da mão de obra, a adopção de novos materiais complementares com

desconhecimento do seu comportamento e princípios de utilização e a desadequação da geometria de algumas coberturas ao sistema em análise, poderão constituir causas principais de anomalias que urge combater. Os processos de manutenção periódica e hierarquizada das coberturas, tal como dos restantes elementos construtivos dos edifícios, constituem a ferramenta adicional imprescindível para diminuir as disfunções que actualmente se verificam. A bibliografia da especialidade contempla já informação detalhada para os pontos singulares das coberturas, pelo que se considera urgente que a informação seja divulgada, de forma criteriosa, aos vários agentes do processo de reabilitação e reconstrução. A total ausência de acções de manutenção regulares é uma das principais razões pela qual as coberturas são frequentemente responsáveis pela degradação precoce do edifício no seu conjunto e dos outros elementos primários (pavimentos e paredes).

Referências

- [1] Pinho, F.S. *Paredes de Edifícios Antigos em Portugal* (2000), Colecção Edifícios, LNEC, Edição 2000.
- [2] Mascarenhas, J.M. *Técnicas tradicionais de construção de alvenarias. A literatura técnica de 1750 a 1900 e o seu contributo para a conservação de edifícios históricos* (2002), Livros Horizonte, ISBN 972-24-1234-5.
- [3] MRRP. Blasi, C.; Borri, A.; Di Pasquale, S.; Malesani, P.; Nigro, G.; Parducci, A.; Tampone, G. *Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione postsismica degli edifici* (2001), Tipografia del Génio Civile, ISBN 88-7722-460-6 (em italiano).
- [4] Vicente, R.; Varum, H.; Mendes da Silva, J.A.R. *Caracterização das alvenarias dos edifícios da baixa de Coimbra as suas anomalias típicas* (2006), II Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, PATORREB 2006. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 20-21 de Março, Porto.
- [5] Teixeira, G.; Cunha Belém, M. *Diálogos de Edificação Estudo de técnicas tradicionais de construção* (1998), CRAT – Centro Regional de Artes Tradicionais.
- [6] Vicente, R.; Mendes da Silva, J.A.R.; Varum, H. *Observação, registo e diagnóstico de anomalias em edifícios no âmbito da reabilitação urbana* (2005), Encontro Nacional sobre qualidade e inovação da construção, 21 - 24 Novembro, LNEC, Lisboa.
- [7] Appleton, J. *Reabilitação de Edifícios Antigos, Patologias e tecnologias de intervenção* (2003), Edições Orion, 1ª Edição, Setembro.
- [8] Lang. K. *Seismic Vulnerability of Existing Buildings* (2002), ETH PhD dissertation No. 14446.
- [9] Bruneau, M. *Seismic evaluation of unreinforced masonry buildings – a state-of-the-art report*; Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 21, pp. 512-539 (1994).
- [10] Pereira da Costa, F. *Enciclopédia Prática da Construção Civil* (1955), Edição do Autor, Depositária, Portugália Editora, Lisboa.
- [11] Leitão, L.A. *Curso Elementar de Construções*; Escola Central da Mesma Arma (1896), Imprensa Nacional.
- [12] GECORPA. *Estruturas de Madeira, Reabilitação e Inovação* (2000), Edição GECORPA, Setembro.
- [13] *Tratado de Rehabilitacion. Patología y técnicas de intervención. Fachadas y cubiertas* (2000), Tomo 4, Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas – UPM, ISBN: 84-89150-26-5.

- [14] MATC. *Manual de Aplicação de Telhas Cerâmicas* (1998), Associação Portuguesa de Industriais da Cerâmica de Construção, Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro, Instituto da Construção, pp. 160, Coimbra.
- [15] Vicente, R. *Estratégias e metodologias para intervenções de reabilitação urbana* (2008), Tese de doutoramento (em desenvolvimento).
- [16] Ortigia Giuffrè. A. (eds.) *Sicurezza e Conservazione dei Centri Storici Il caso Ortigia* (2000), Editore Laterza & Figli Spa, Rome-Bari.
- [17] Arriaga, F. *Intervencion en estructuras de Madera* (2002), AITIM, Madrid. ISBN 84-87381-24-3.
- [18] Amorim, J. *Reabilitação de estruturas de madeira em edifícios históricos*, Revista Património-Estudos, IPPAR, pp. 8-13, (2002).